

*It is looked at the installation for grain disinsection in high electric field of pulsed current. It is analyzed advadvantages of using of pulsed current supply source and additional electrodes for intensify of discharge processes in grain mass.*

**Grain mass, granary pests, high electrical field, discharges processes.**

УДК 621.365.5

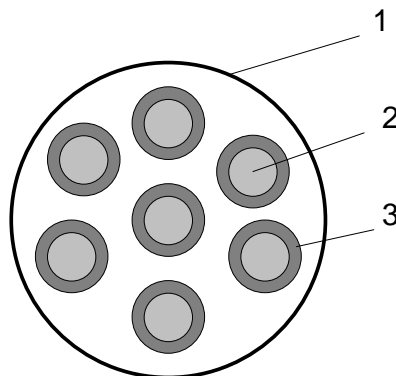
## **ВИБІР РАЦІОНАЛЬНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ І РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ЦИЛІНДРИЧНОГО ІНДУКТОРА ІЗ ЗАВАНТАЖЕННЯМ У ВИГЛЯДІ ПУЧКА ФЕРОМАГНІТНИХ ТРУБ**

***І.П. Кондратенко, доктор технічних наук  
А.О. Березюк, кандидат технічних наук***

*Проаналізовано залежність енергетичних характеристик циліндричного індуктора із завантаженням у вигляді пучка феромагнітних труб від геометричних і режимних параметрів індуктора та встановлено їх взаємозв'язки.*

***Індуктор, феромагнітне завантаження, індукційний нагрів.***

Для ефективного нагріву проміжних середовищ важлива розгалужена поверхня теплообмінного апарата. Розгалужена поверхня теплообміну може бути реалізована в циліндричному індукторі із завантаженням у вигляді пучка труб, вздовж яких проходить (протікає) матеріал (теплоносій), що нагрівається (рис. 1.).



**Рис. 1. Циліндричний індуктор із завантаженням у вигляді багатотрубної системи:**

1 – індуктор; 2 – матеріал, що нагрівається;  
3 – завантаження у вигляді феромагнітної труби

Необхідні параметри та режим нагріву можна забезпечити, вибираючи раціональні геометричні розміри індуктора і циліндричних елементів завантаження, а також встановлюючи необхідну швидкість руху (продуктивність) матеріалу вздовж каналу індуктора.

**Мета досліджень** – встановлення залежності енергетичних показників циліндричного індуктора з феромагнітним завантаженням від його геометричних і режимних параметрів.

**Матеріали та методика досліджень.** Електромагнітний розрахунок індукторів із завантаженням у вигляді феромагнітної багатотрубною системи може бути реалізований на основі методу, наведено в роботі [1], де електромагнітне поле циліндричного індуктора розраховувалося на основі системи рівнянь Максвелла:

$$\operatorname{rot} H = j, \operatorname{div} B = 0, \operatorname{rot} E = -\partial B / \partial t, \quad (1)$$

з урахуванням матеріальних рівнянь:

$$B = \mu H, \quad j = \sigma E. \quad (2)$$

де  $B, H, E, j$  – вектори магнітної індукції, напруженості магнітного та електричного полів, густини струму;  $\sigma, \mu$  – питома електропровідність і магнітна проникність матеріалу труби, які для цієї задачі приймаємо сталими.

При цьому, за довжиною індуктора, виконуються граничні умови  $A_\varphi|_{z=0} = A_\varphi|_{z=l} = 0$ , що відповідають реальним умовам загасання електромагнітного поля на деякій відстані від індуктора, а також граничні умови на границях розмежування виділених областей, а саме: рівності нормальних складових магнітної індукції ( $B_\rho^- = B_\rho^+$ ), рівності тангенціальних складових напруженості магнітного поля на границях, де струмовий шар відсутній  $H_z^- = H_z^+$ , і стрибку напруженості магнітного поля на границі, де присутній струмовий шар  $H_z^+ - H_z^- = I_0$ .

Розв'язок електромагнітної задачі, яка зводиться до модифікованого рівняння Бесселя, для азимутальної складової векторного магнітного потенціалу дозволяє знайти розподіл щільності струму в трубі:

$$j_\varphi = -\sigma i \omega A_\varphi. \quad (3)$$

З огляду на те, що величина магнітної проникності феромагнітної труби нелінійно залежить від напруженості магнітного поля, компоненти електромагнітного поля визначаються в ітераційному обчислювальному процесі. Для цього розроблений метод передбачає визначення параметрів послідовної схеми заміщення, а саме:

- комплексного опору, що вноситься для індуктора із завантаженням у вигляді пучка феромагнітних труб:

$$z_{mn} = n z_{m1} - z_{xx} (n - 1), \quad (4)$$

де  $z_{m1}$  – комплексний опір, що вноситься для індуктора із завантаженням у вигляді однієї феромагнітної труби;  $z_{xx}$  – внесений комплексний опір індуктора без завантаження;  $n$  – кількість циліндричних елементів (труб) у завантаженні.

- активного опору обмотки індуктора

$$r_{об} = \frac{\rho l}{S}, \quad (5)$$

де  $\rho = 0,0205, \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$  – питомий опір мідного проводу при температурі  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $l = 2\pi r_1 w$  – довжина проводу обмотки індуктора, м;

$$S = \frac{\pi d_{np}^2}{4} \text{ – площа поперечного перерізу проводу, мм}^2;$$

Таким чином, врахувавши опори на схемі заміщення, можна визначити енергетичні характеристики індукційної установки. Потрібно зазначити, що ефективність роботи пристроїв індукційного нагріву, в основному, визначається величиною їх коефіцієнта корисної дії (ККД). ККД пристроїв індукційного нагріву визначається електрофізичними властивостями та геометричними розмірами завантаження та індуктора, а саме: довжиною намотки, кількістю витків обмотки, числом шарів, конфігурацією індукуючого проводу тощо. ККД розраховується як відношення потужності, що передано в завантаження (корисної потужності) до повної потужності, яка складається з корисної потужності та потужності втрат в обмотках.

Останнє стосується лише електричного ККД. Повний ККД пристроїв індукційного нагріву, також, повинен включати втрати, що пов'язані з теплопередачею тепла від нагрітого завантаження на елементи конструкції індуктора та навколишнє середовище. Тим не менше, досвід створення пристроїв індукційного нагріву, особливо таких, що передбачають нагрів до температури, за якої проміниста складова теплообміну не є визначальною, показує, що ККД перш за все визначається електричними втратами в обмотці індуктора, тому в роботі буде розглядатися лише електричний ККД.

Для прикладу розглянемо індукційний нагрів пучка феромагнітних труб, що розміщені в циліндричному індукторі з внутрішнім діаметром  $d_{нд} = 0,2 \text{ м}$  і довжиною намотки  $a = 0,6 \text{ м}$ . Виберемо параметри індуктора, який призначений для нагріву, наприклад води, потужністю 7 кВт.

**Результати досліджень.** При вказаному діаметрі індуктора, як показують попередні розрахунки, припустимо застосовувати промислову частоту струму (50 Гц). Також, з економічної точки зору, доцільно використовувати джерело промислової напруги – 380/220 В.

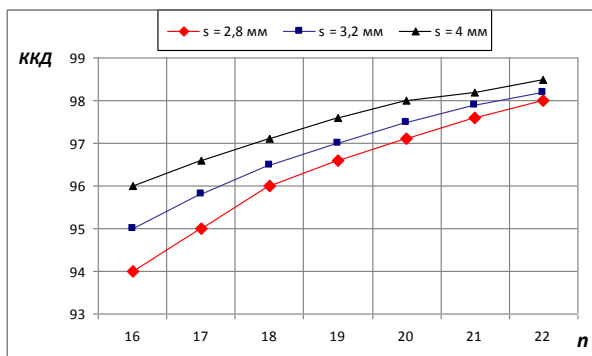
Виконання індуктора багат шаровим дає змогу досягти високого ККД та зменшити величину струму в обмотках, але це може призвести до значного збільшення електричних втрат через збудження вихрових струмів у витках обмотки, що знаходиться в електромагнітному полі, яке утворюється зовнішніми витками. Проте в окремих випадках при правильному виборі конфігурації індукуючого проводу для багат шарового індуктора можна навіть досягти підвищення енергетичних показників відносно одношарових обмоток [3]. Особливо це стосується індукційних пристроїв для нагріву феромагнітного завантаження, яке має

нелінійні властивості через залежність магнітної проникності від напруженості магнітного поля.

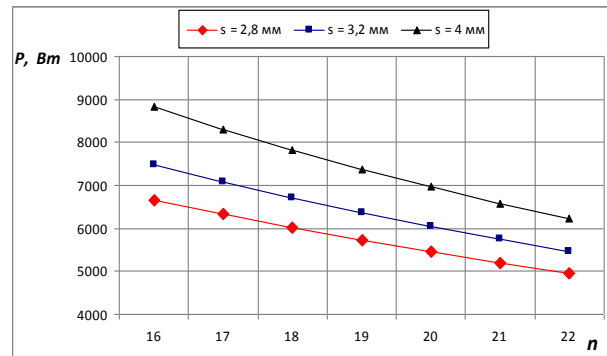
Додаткові втрати в обмотках можуть бути розраховані на підставі методики, запропонованої в роботі [2], в основу якої покладено чисельне моделювання процесу індукційного нагріву в об'ємі всієї установки та визначенні розподілу складових електромагнітного поля вздовж намотки багат шарового індуктора, що дозволяє визначити електрофізичні умови, в яких знаходяться витки обмотки кожного шару. Запропонований підхід дає змогу визначити додаткові втрати потужності в окремих групах провідників та в багат шаровій обмотці в цілому.

Таким чином, змінюючи кількість витків індуктора, приходимо до висновку, що необхідну потужність можна отримати при кількості витків в обмотці  $w = 120$ . Така обмотка може бути виконана проводом ПДС – 3,5x8 в два шари (60 витків в кожному шарі). При цьому додаткові втрати потужності становитимуть 8 % від основних.

Проаналізуємо, яким чином енергетичні показники індуктора залежать від геометричних характеристик труб (рис. 2, 3), що завантажені в індуктор, а саме: їх кількості та товщини стінки.



**Рис. 2. Крива зміни ККД індуктора від кількості елементів завантаження**



**Рис. 3. Крива зміни потужності індуктора від кількості елементів завантаження**

Як видно з рис. 2., ККД індуктора підвищується зі збільшенням кількості труб у завантаженні, але при цьому потужність індукційної установки дещо падає (рис. 3.). Таким чином, шляхом варіювання кількості труб у завантаженні, можна оптимізувати енергетичні показники установки.

При цьому, як завантаження розглядався пучок сталевих водогазопровідних труб загальнопобутового призначення із зовнішнім діаметром  $d_{з.тр} = 0,0335$  м. Вибрана труба регламентуються відповідно «ГОСТ 3262-75 – сортамент, размеры, масса» та має три типорозміри товщини стінки: легкі –  $s = 2,8$  мм, звичайні –  $s = 3,2$  мм, посилені –  $s = 4$  мм. Отже, було проаналізовано вплив товщини стінки труби на енергетичні характеристики індукційної установки, а саме ККД і потужність індуктора (див. рис. 2, 3.). З графіків випливає, що при збільшенні

товщини стінки труби на один типорозмір ККД індуктора зростає незначно (на 1 %), а потужність підвищується приблизно на 10 %.

Відомо твердження про те, що вся потужність буде виділятися в тілі труби, товщина стінки якої буде співрозмірна глибині проникнення електромагнітної хвилі [2]. За умови, що індуктор працює на промисловій частоті (50 Гц), а труба (завантаження) виконана зі сталі Ст.3 з питомою електропровідністю  $\sigma = 3,5 \dots 5 \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}}$ , глибина проникнення електромагнітної хвилі становитиме  $\delta = 6 \dots 9 \text{ мм}$ . Таким чином, можна зробити висновок про те, що найвищих енергетичних показників установки можна досягти при наближенні товщини стінки труби до глибини проникнення хвилі. Однак, використовуючи стандартні трубні заготовки, варіюючи, наприклад їх кількістю, можна досягти необхідних енергетичних параметрів.

Отже, для досягнення необхідної потужності індукційної установки (7 кВт) завантаження індуктора матиме такі геометричні розміри: зовнішній діаметр труби –  $d_{з.тр} = 0,0335 \text{ м}$ , внутрішній діаметр труби –  $d_{в.тр} = 0,0255 \text{ м}$  (товщина стінки труби  $s = 4 \text{ мм}$ ), кількість труб у завантаженні  $n = 19 \text{ шт}$ .

### Висновки

Встановлено залежність енергетичних характеристик циліндричного індуктора із завантаженням у вигляді пучка феромагнітних труб від геометричних і режимних параметрів індуктора та доведено, що енергетичні показники циліндричного індуктора суттєво залежать від його геометрії, а також режиму роботи, що пов'язано з нелінійними властивостями феромагнітного завантаження. Аналіз показує, що вибрана кількість труб ( $n = 19 \text{ шт}$ ) є досить оптимальною з точки зору високого значення ККД індуктора ( $\eta = 97 \%$ ) та потужності установки ( $P = 7,5 \text{ кВт}$ ).

### Список літератури

1. Березюк А. О. Енергетичні характеристики і електричні параметри індукторів для нагріву пучка феромагнітних труб / А. О. Березюк, І. П. Кондратенко, А. П. Ращепкін // Вісник Кременчуцького держ. ун-ту ім. Михайла Остроградського. – 2010. – Вип. 3 (62), ч. 2. – С. 56 – 60.
2. Березюк А. О. Розрахунок додаткових втрат потужності в обмотці циліндричного індуктора / А. О. Березюк, І. П. Кондратенко // Науковий вісник НУБіП України. Серія: «Техніка та енергетика АПК». – К., 2013. – Вип. 184, ч.2. – С. 208 – 213.
3. Установки индукционного нагрева: учеб. пособие для вузов / А. Е. Слухоцкий, В. С. Немков, Н. А. Павлов, А. Б. Бамунэр; под ред. А. Е. Слухоцкого. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 328 с.

*Проанализирована зависимость энергетических характеристик цилиндрического индуктора с загрузкой в виде пучка ферромагнитных*

*труб от геометрических и режимных параметров индуктора и установлены их взаимосвязи.*

***Индуктор, ферромагнитная нагрузка, индукционный нагрев.***

*In this paper we analyzed the dependence of the energy characteristics of a cylindrical inductor which is loaded by a bundle of ferromagnetic pipes from the geometrical and operational parameters of the inductor and found their relationship.*

***Inductor, ferromagnetic loading, induction heating.***

УДК 004.9

## **МОДУЛЬ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ В РОСЛИННИЦТВІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОННОГО ДОРАДНИЦТВА**

***М.І. Васюхін, доктор технічних наук  
О.М. Ткаченко, кандидат технічних наук  
Ю.Ю. Іваник, аспірантка\****

*Розглянуто концепцію та архітектуру підсистеми підтримки прийняття рішень як складової інформаційної системи управління в галузі рослинництва у контексті впровадження в систему електронного дорадництва України.*

***Система, підтримка прийняття рішень, рослинництво, електронне дорадництво.***

Рослинництво є однією з найбільш значущих і ємких в матеріально-товарному відношенні серед аграрно-орієнтованих галузей України та важливим з точки зору постачання сировини для інших галузей (тваринництво, переробка тощо). Основними напрямками інновацій у цій галузі є впровадження систем точного землеробства [2–3, 11, 14], автоматизованих систем управління (АСУ) сільськогосподарським підприємством [1, 7] та систем підтримки прийняття рішень (СППР), у тому числі з використанням засобів штучного інтелекту [5, 9]. Нині існує вже ряд рішень для автоматизованого управління зі спеціалізацією за галузями господарювання, в тому числі й для АПК, деякі з них, які використовують геоінформаційні (ГІС) технології, наведено в таблиці.

---

\* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор М.І.Васюхін

© М.І. Васюхін, О.М. Ткаченко, Ю.Ю. Іваник, 2014